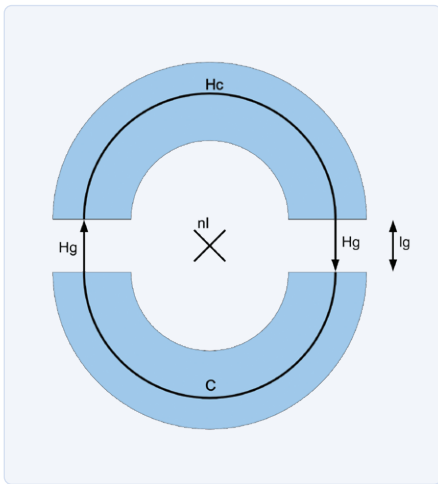


DC-stroomklem

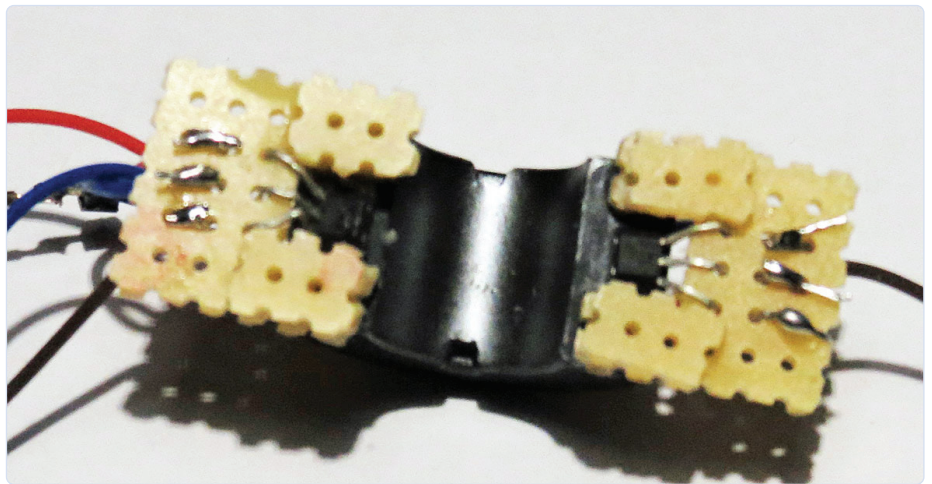
Hall-sensor + ferrietkern + Arduino

Prof. dr. Martin Oßmann (Duitsland)

Wanneer u de stroom door een draad moet meten, zet u normaliter een ampèremeter in serie met de kabel. Als u een zogenaamde stroomtang gebruikt, hoeft u het circuit niet te onderbreken. De eenvoudiger uitvoeringen van zo'n stroomtang kunnen alleen wisselstroom meten omdat ze sensoren gebruiken die alleen op AC reageren (die werken met andere woorden volgens hetzelfde principe als een transformator). Om gelijkstromen te meten, kunnen we Hall-sensoren gebruiken.



Figuur 1. De geometrie van het magnetische veld.



Figuur 2. Montage van de Hall-sensoren op de kern.

Voordat we bij een project als dit aan het ontwerp beginnen, is het een goed idee om de materie te onderzoeken en commerciële voorbeelden te bestuderen om te zien hoe die zijn ontworpen en waar verbetering mogelijk is. Een stroomtang bestaat in feite uit twee halve ferrietkernen. Die kern is zo opgebouwd dat de twee helften gescheiden zijn door een luchtspleet (**figuur 1**). De stroom die door de door de kern omsloten draad vloeit, heeft de waarde nl .

Wiskundige relaties

De waarde n staat voor het aantal windingen (waarmee de geleider die de te meten stroom voert, om de detectiekern wordt gewikkeld); het is een vermenigvuldigingsfactor die wordt toegepast op de meting van het magnetische veld dat de kern magnetiseert. De magneti-

sche fluxdichtheid (magnetische inductie) in de kern B_c (waarbij c voor *core* of kern staat) is hetzelfde als in de luchtspleet B_g (waarbij g voor *gap* of spleet staat) zodat $B_g = B_c$. Dit volgt uit de vergelijkingen van Maxwell. Eenvoudigheidshalve kunnen we aannemen dat de magnetische velden in de kern en de luchtspleet homogeen zijn. De materiaalvergelijking $B_g = \mu_0 \times H_g$ is van toepassing in het gebied van de luchtspleet, terwijl in de kern geldt $B_c = \mu_r \times \mu_0 \times H_c$. Ferrietmaterialen hebben een typische relatieve permeabiliteit μ_r van ongeveer 2.000. Hieruit volgt $H_g = \mu_r \times H_c$, dus in de kern is de magnetische veldsterkte een factor μ_r kleiner dan in de luchtspleet. In de praktijk mogen we daarom de magnetische veldsterkte in de kern vaak verwaarlozen.

De wet van Ampère beschrijft de relatie tussen het geïntegreerde magnetische veld rond een gesloten lus en de stroom door die lus. De

lijnintegraal van het magnetische H -veld rond een gesloten kromme is gelijk aan de totale stroom nl . In figuur 1 is deze kromme aangegeven als C . De luchtspleet heeft hier de lengte $l_g = 1,6 \text{ mm}$; de lengte van een kernhelft wordt gegeven door $l_c = \pi \times d_c / 2$ waarbij de kern-diameter $d_c = 18 \text{ mm}$ bedraagt. Volgens de wet van Ampère geldt:

$$2 \times l_g \times H_g + 2 \times l_c \times H_c = nl$$

Als we hier invullen $H_c = H_g / \mu_r$ en dan H_g oplossen, krijgen we:

$$H_g = nl / (2 \times l_g + 2 \times l_c / \mu_r)$$

Hiermee kunnen we het magnetische veld dat door de sensoren wordt gedetecteerd, berekenen als functie van de stroom. In dit project worden twee stuks A 1324



Figuur 3. Aansluitingen van de Hall-sensoren.

LUA-T Hall-sensoren met een gevoeligheid $S = 5 \text{ mV} / \text{G}$ gebruikt. Dit resulteert in een uitgangsspanning van de sensoren die gelijk is aan:

$$U = 2 \times S \times \mu_0 \times nI / (2 \times I_g + 2 \times I_c / \mu_r)$$

Door waarden in de vergelijking in te vullen, krijgen we:

$$U = I \times 38,92 \text{ mV} / \text{A}$$

Als we kijken naar de stromen die doorgaan in 'doorsnee' elektronische applicaties voorkomen, hebben we te maken met niet al te extreme spanningen in het mV-bereik. Als we het veld in de ferrietkern negeren, kunnen we de uitdrukking vereenvoudigen tot:

$$U = S \times \mu_0 \times nI / I_g$$

hetgeen $U = I \times 39,26 \text{ mV} / \text{A}$ geeft, een vereenvoudigde schaalfactor die dicht genoeg bij de hierboven afgeleide waarde ligt.

De ferrietkern

Het kernelement van de DC-stroomklem bestaat uit de twee helften van een standaard scharnierend ontstorings-ferrietkern die vaak om kabels zijn geklemd die uit een behuizing met elektronische apparatuur komen (figuur 2). De twee Hall-sensoren zijn aan de platte uiteinden van de ene helft van de kern gelijmd en vormen zo de luchtspleten. Een klein stukje van 1,6 mm dik pertinax of gaatjesprint (waarvan al het koper is verwijderd) draagt de sensor en bepaalt de dikte van de luchtspleet. In figuur 3 ziet u hoe de sensoren worden geplaatst.

De twee kernhelften kunnen vervolgens met bijvoorbeeld plakband of een elastiekje tegen elkaar worden geklemd. De stroomvoerende geleider kan dan door het gat in het midden van de constructie worden geleid. Figuur 4 toont een voorbeeld waarbij een eenaderige geleider meerdere keren rond de kern is gelust, met als effect dat de gevoeligheid van de Hall-effectsensor lineair toeneemt.

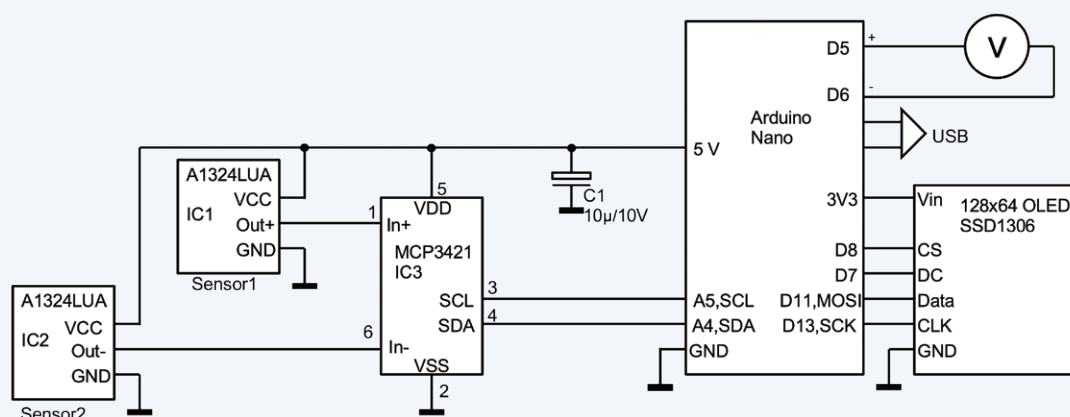


Figuur 4. Als de draad meerdere malen om de kern wordt gewikkeld, neemt de gevoeligheid toe.

De elektronica

Een MCP3421 wordt gebruikt als analoog/digitaal-omzetter. Dit IC is een goedkope 18-bit converter met een interne spanningsreferentie van 2,048 V en een differentieel ingangstrap. De uitgangsspanning van de Hall-sensor bedraagt in rust de halve voedingsspanning. Wanneer ze zoals weergegeven in de luchtspleet tussen de kernhelften zijn geplaatst, produceert de magnetische flux ten gevolge van de stroom in de stroomvoerende kabel een positieve spanningsverandering aan de uitgang van de ene sensor en een corresponderende negatiefgaande verandering bij de andere sensor. Op deze manier verbonden, worden de veranderingen van hun uitgangsspanning effectief opgeteld in de differentieel ingangstrap van de A/D-omzetter. De resolutie van de 18-bit converter bedraagt $2,048 \text{ V} / 2^{17} = 0,015 \text{ mV}$, genoeg voor deze toepassing.

Als CPU wordt een Arduino Nano-microcontroller gebruikt; deze heeft meer dan genoeg GPIO-mogelijkheden voor



Figuur 5. De complete schakeling van de stroomklem.

ons doel. Een goedkoop OLED-display van 128 x 64 pixels dient als scherm. De relatief eenvoudige schakeling is in opgebouwde vorm te zien in **figuur 5**. Mocht u liever een analoog instrument gebruiken, dan kunt u aan de uitgang ook een moving-coil voltmeter aansluiten. Eén volt uitgangsspanning komt dan overeen met één ampère meetstroom.

De commando's

Om de schaalparameters in de software van de auteur te gebruiken en in te stellen, kunnen een paar commando's worden ingevoerd via de seriële interface van de Arduino IDE. De gemeten waarden worden ook weergegeven via die seriële interface.

Commando '0' = nulinstelling

Dit commando mag alleen worden gegeven als er geen meetstroom door de meetkern van de stroomklem loopt. De software voert een nulcorrectie uit en slaat de waarde van deze offset op in niet-vluchtig EEPROM. De Hall-sensoren hebben een offsetspanning (die temperatuurafhankelijk is) en die moet worden gecompenseerd om nauwkeurig te kunnen meten.

Commando '1' = schaalfactor voor 1 A

Deze kalibratiestap wordt gebruikt om de interne schaalfactor te bepalen bij een stroom $I = 1$ A door de te meten kabel stroomt. De schaalfactor wordt berekend en vervolgens opgeslagen in EEPROM.

Commando '5' = schaalfactor voor 500 mA

Zoals het commando '1' maar dan voor een referentiestroom van 0,5 A.

Commando 'u'

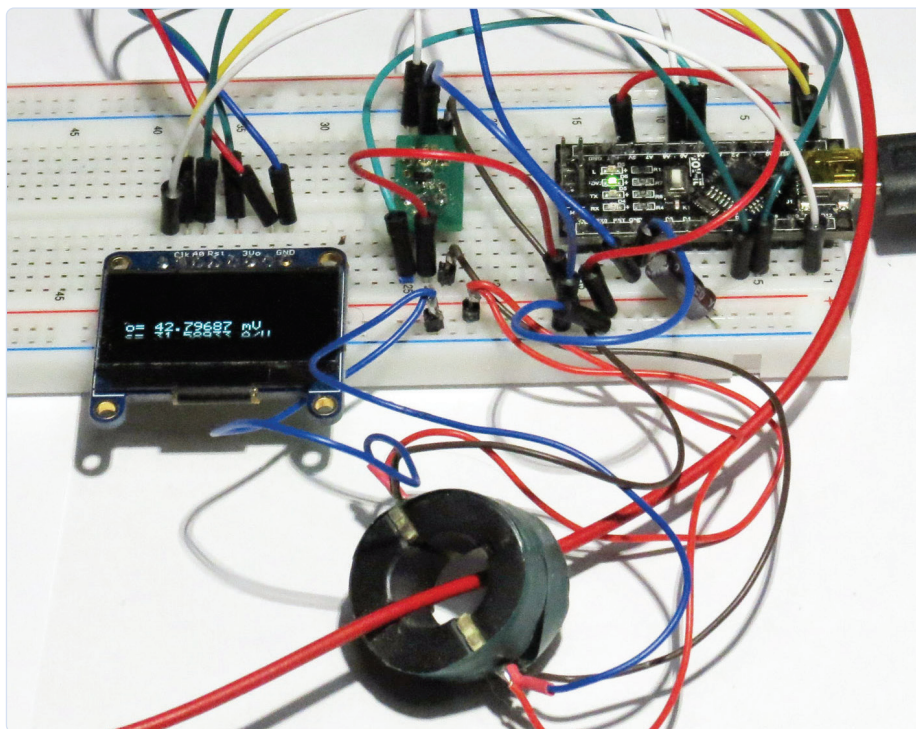
Als na deze 'u' een waarde wordt ingevoerd, wordt deze waarde weergegeven als een spanning. De stroomklem gaat vervolgens gedurende een zekere periode naar de 'DVM-kalibratiemodus'; dan kunt u de '+' en '-' gebruiken om de uitvoer op de exacte waarde in te stellen.

Commando 'd'

De standaardwaarden van de parameters worden naar EEPROM geschreven om deze voor het eerste gebruik te initialiseren.

Bouw

Om het principe van deze schakeling te demonstreren, heb ik het prototype opgebouwd op breadboard en de diverse componenten in de schakeling met jumperdraden aangesloten (**figuur 6**). Op de voorgrond ziet u de ferrietkern; het kleine



Figuur 6. Het op breadboard gebouwde prototype.

display is links te zien en de Arduino Nano aan de rechterkant. De software is ontwikkeld met behulp van de Arduino IDE en vervolgens gedownload naar het Nano-board. De nieuwste versie van deze software is gratis beschikbaar op de Elektor-projectpagina bij dit artikel [1]. Het prototype van het stroomklem-project is getest; het gedroeg zich zoals verwacht na het opstarten. We hopen dat deze schakeling u zal inspireren tot eigen experimenten of om andere projecten te bouwen waar stromen magnetisch worden gemeten! 

200595-03

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur of naar de redactie van Elektor, via redactie@elektor.com.

Een bijdrage van

Ontwerp en tekst:

prof. dr. Martin Oßmann

Redactie: **dr. Thomas Scherer**

Vertaling: **Eric Bogers**

Layout: **Giel Dols**

WEB LINK

[1] Projectpagina bij dit artikel: www.elektormagazine.nl/200595-03



GERELATEERDE PRODUCTEN

> **0.96" 128x64 OLED-display voor Arduino**
www.elektor.nl/blue-0-96-oled-display-spi-6-pin

> **PeakTech Clamp meter 4350**
www.elektor.nl/peaktech-4350-clamp-meter